

APPLICATION
FOR
UNITED STATES LETTERS PATENT

**TITLE: DISPLACEMENT SENSOR AND
METHOD FOR USING THE SAME**

INVENTOR: Yuji AKISHIBA

変位計および変位測定方法

【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば金属、樹脂、ガラス、セラミック、紙等の被測定物の表面に光を投射して、被測定物の表面の変位を測定する変位計及び変位測定方法、同様の測定原理を用いて被測定物の厚みを測定する厚み計に関する。

【関連技術】

金属や樹脂等の被測定物の表面の変位を測定する装置には、例えば合焦点検出型非接触変位計が利用されている。また、本発明者らは特許文献1に示す変位計を先に開発した。特許文献1に係る変位計を構成例を図1に示す。この図に示す変位計は、レーザパワー制御部11で駆動されるレーザダイオード12の出射光は、ビームスプリッタ13と、コリメートレンズ14と対物レンズ15とを順次通過して、被測定物16に投射されるよう構成されている。被測定物16からの反射光は対物レンズ15と、コリメートレンズ14とを通過してビームスプリッタ13で反射し、ピンホール17aを形成している光絞り部17のピンホール17aを通過してホトダイオード18へ入射する。ホトダイオード18で光電変換した信号は増幅器19へ入力され、その出力信号Xは演算部20へ入力される。

U字状をした音叉21の一侧長寸部の先端には対物レンズ15の周縁部分が取り付けられる。対物レンズ15は、音叉21の振動により、レーザダイオード12の出射光の光軸方向に所定振幅で振動される。音叉21の一侧長寸部の先端側の側方には、例えば磁気、光又は静電容量を利用したセンサからなる、位置検出部たる音叉振幅検出器22が配設され、音叉21の振幅、つまり対物レンズ15の位置を検出可能としている。音叉振幅検出器22が検出した検出振幅信号は増幅器23へ入力され、その出力信号Yは演算部20へ入力される。音叉21の他側長寸部の先端側の側方には、音叉21を振動させるためのソレノイド24が配設されている。ソレノイド24には音叉振幅制御部25からの制御電流が供給され、音叉振幅制御部25には増幅器23の出力信号が与えられて音叉21の振幅を

一定になすべく制御される。

以下、この変位計の動作を説明する。音叉振幅制御部25からソレノイド24に制御電流を供給すると、ソレノイド24により制御電流に応じた磁界が発生する。この発生磁界により音叉21が所定振幅で振動し、対物レンズ15を、それを通る光の光軸方向へ振動させる。音叉振幅検出器22は音叉21の振幅、即ち対物レンズ15の振幅を検出し、対物レンズ15の振幅たる正弦波信号を出力する。この正弦波信号を、増幅器23で増幅し、増幅器23から出力される出力信号Yを演算部20へ入力させる。

一方、レーザパワー制御部11からレーザダイオード12に駆動電流を供給すると、レーザダイオード12はレーザ光を出射する。この出射光はビームスプリッタ13、コリメートレンズ14及び対物レンズ15を通して被測定物16へ投射される。被測定物16で反射した反射光は対物レンズ15とコリメートレンズ14を通してビームスプリッタ13で反射して光絞り部17側へ投射され、ピンホール17aを透過した光のみがホトダイオード18へ入射する。そのため、ホトダイオード18には、被測定物16で生じた潜り光及びレーザダイオード12で発生した迷光による反射光はピンホール17aで遮られてピンホール17aを通らず、ホトダイオード18には、被測定物16に生じた合焦点の光のみが入射することになる。

この際、対物レンズ15が振動させられているために、対物レンズ15と被測定物16との距離は変化している。所定の距離において、被測定物16に投射した光の合焦点が被測定物16に生じると、ホトダイオード18の受光出力は瞬時に最大となり、この受光出力に応じた信号が増幅器19へ入力され、増幅器19から出力信号Xが出力され演算部20へ入力される。演算部20は出力信号Xが最大値となる時点での出力信号Yのレベル、即ち対物レンズ15の振幅をサンプリングし、変位信号Sとして出力する。そしてサンプリングした変位信号Sを距離変換部50へ入力して、変位信号Sを、変位信号Sに応じた距離に変換して、被測定物16の表面の変位を測定する。この受光量が最大となる位置、すなわち被測定物16に投射した光の合焦点が被測定物16上で得られる対物レンズ15の位置を捉えることで、被測定物16の

表面の変位を測定することによって、変位を高精度、高速度に測定できる。また光絞り部を用いているので、被測定物16で生じる潜り光や迷光による反射光が生じていても、変位の測定値に誤差を生じ難い変位計とすることができる。

【特許文献1】

特許3300803号

しかしながら、この変位計では被測定物に投光する光のスポットサイズが小さいため、被測定物の表面状態によっては測定不可能となることが生じるという問題があった。例えば被測定物の表面に凹部や穴がある等して、光が正常に反射され難い領域が存在するような場合には、変位計から被測定物に投光された光が変位計に正しく反射されなくなり、測定ができなくなる。また被測定物の表面にスポットサイズのオーダーで細かな凹凸があるような場合は、少しでも測定位置が変動したり被測定物が動くと測定値が大きく変動するため、正確な計測が困難になるという問題もあった。

【発明の要旨】

本発明は、このような問題を解決するためになされたものであり、本発明の目的は、被測定物の表面状態によらず安定した計測が可能な変位計および変位測定方法を提供することにある。

上記の目的を達成するために、本発明の請求項1に記載される変位計は、被測定物16に投射する光を発生させる発光部と、前記発光部から出射された光を受けて、被測定物16に投射する対物レンズ15と、前記対物レンズ15を、所定の振幅で第1の方向に沿って振動させる加振部と、第1の方向に前記対物レンズ15が移動された位置を検出する位置検出部と、被測定物16からの反射光が通過する光絞り部と、前記光絞り部を通過した光を受光する受光部と、前記受光部で受光した受光量の最大時点における前記位置検出部での検出位置を取得し、これに基づいて被測定物16に関する変位を演算する変位演算部とを備える。この変位計はさらに、前記対物レンズ15を第1の方向と直交する第2の方向に沿って移動させる対物レンズ走査部52と、前記対物レンズ走査部52により対物レ

レンズ15を第2の方向に沿って移動させることで被測定物16における測定ポイント在所定の移動量で移動させ、複数の測定ポイントで変位を測定し、各測定ポイントでの変位の測定結果に基づいて被測定物16に関する2次元の変位を演算する演算処理部58とを備えることを特徴とする。

この構成によって、対物レンズ15を第1の方向と直交する第2の方向に沿って移動させ、測定ポイントを変えながら複数の位置での変位量を連続的に測定することが可能となり、たとえ1点において測定不可能となっても、他の近傍の点での測定結果によって変位量もしくは変位量の近似値を得ることができる。

また、請求項2の変位計は、被測定物16に投射する光を発生させる発光部と、前記発光部から出射された光を受けて、被測定物16に投射する対物レンズ15と、前記対物レンズ15を、所定の振幅で対物レンズ15を通過する光の光軸の方向に沿って振動させる加振部と、光軸方向に前記対物レンズ15が移動された位置を検出する位置検出部と、被測定物16からの反射光が通過する光絞り部と、前記光絞り部を通過した光を受光する受光部と、前記受光部で受光した受光量の最大時点における前記位置検出部での検出位置を取得し、これに基づいて被測定物16に関する変位を演算する変位演算部とを備える。この変位計はさらに、被測定物16上で測定対象となる測定領域を指定する測定領域指定部51と、前記測定領域指定部51で指定された測定領域にしたがって、前記対物レンズ15を光軸方向と直交する平面に沿って移動させる対物レンズ走査部52と、前記対物レンズ走査部52により直交平面で前記対物レンズ15が移動された位置を検出する対物レンズ移動検出部53と、前記対物レンズ移動検出部53によって検出される、測定領域内で測定を行った複数の測定ポイントにおける対物レンズ15の位置情報と、複数の測定ポイントにおいて測定された変位量とに基づいて、測定領域内における変位量の分布を演算するための演算処理部58と、前記演算処理部58によって演算された結果を出力するための出力部66とを備えることを特徴とする。

この構成によって、対物レンズ15を第1の方向と直交する第2の方向に沿って移動させ、測定ポイントを変えながら複数の位置での変位量を連続的に測定す

ることが可能となり、たとえ1点において測定不可能となっても、他の近傍の点での測定結果によって変位量もしくは変位量の近似値を得ることができる。

さらに、請求項3の変位計は、請求項1又は2に加えて、前記対物レンズ走査部52は、被測定物16上にて指定された経路もしくは領域内を所定の間隔で走査するように前記対物レンズ15を移動させ、前記演算処理部58が各測定ポイントで測定された変位量を連続量として、前記指定された経路もしくは領域内における被測定物16のプロファイルを表示可能に構成してなることを特徴とする。

この構成によって、線で指定された部分の変位量を連続的に取得でき、指定部分の形状や傾きを検出することが可能となる。

さらにまた、請求項4の変位計は、請求項1又は2に加えて、前記対物レンズ走査部52は、被測定物16上にて指定された経路もしくは領域内を所定の間隔で走査するように前記対物レンズ15を移動させ、前記演算処理部58が各測定ポイントで測定された変位量を平均して前記指定された経路もしくは領域の変位量として演算することを特徴とする。

この構成によって、線で指定された領域の変位量の平均値を取得でき、変位計が被測定物16に投光する光のスポットサイズを、近似的に大きくした測定を得ることが可能となる。

さらにまた、請求項5の変位計は、請求項1から4のいずれかに加えて、前記測定領域指定部51は、前記対物レンズ15を移動させる範囲である走査幅、移動の中心位置である走査中心、対物レンズ15を周期的に移動させる場合の走査周期、一回当たりの移動量である走査ステップの少なくともいずれかを設定可能とすることを特徴とする。

この構成によって、変位測定の精度や測定時間をユーザの所望に応じて適宜変更することが可能となる。例えば、変位測定の精度を向上させるには、走査ステップを小さくすればよい。また測定時間を速くするには走査ステップを大きくする、あるいは移動範囲を小さくする等に設定すればよい。

さらにまた、請求項6の変位計は、請求項1から5のいずれかに加えて、さら

に前記発光部から出射される光を平行光に変換して、平行光を前記対物レンズ15に入射させるコリメートレンズ14を備えており、前記対物レンズ15は前記対物レンズ走査部52によって、前記コリメートレンズ14からの平行光の光軸に対して垂直な方向に移動可能に構成してなることを特徴とする。

さらにまた、請求項7の変位計は、請求項1から6のいずれかに加えて、前記対物レンズ走査部52は、前記対物レンズ15を所定の位置を中心として所定の振幅で振動するように移動することを特徴とする。

さらにまた、請求項8の変位計は、請求項1から7のいずれかに加えて、前記対物レンズ走査部52は、前記対物レンズ15を円弧上に移動させることを特徴とする。

さらにまた、請求項9の変位計は、請求項8に加えて、前記対物レンズ走査部52は、前記対物レンズ15を所定の回転軸を中心として円弧上を移動させるサーボモータ52Aで構成してなり、前記対物レンズ移動検出部53は、前記サーボモータ52Aの回転角を検出する回転角センサ53Aで構成してなることを特徴とする。

さらにまた、請求項10の変位計は、請求項8に加えて、前記対物レンズ走査部52は、前記対物レンズ15を所定の回転軸を中心として回転移動させるボイスコイル52Bで構成してなり、前記対物レンズ移動検出部53は、前記ボイスコイル52Bの移動を検出するホール素子53Bで構成してなることを特徴とする。

さらにまた、請求項11の変位計は、請求項8に加えて、前記対物レンズ走査部52を、前記対物レンズ15を連結した片持ち梁で構成されてなることを特徴とする。

さらにまた、請求項12の変位計は、請求項1から7のいずれかに加えて、前記対物レンズ走査部52は、前記対物レンズ15を直線状に移動させることを特徴とする。

さらにまた、請求項13の変位計は、請求項1から12のいずれかに加えて、前記変位計はさらに、被測定物16からの反射光の光路上に配置される撮像用受

光部65と、前記撮像用受光部65で検出された受光信号に基づいて被測定物16を結像し表示するための撮像モニタ63を備えており、前記撮像モニタ63で表示する画像を撮像するタイミングを、所定の測定ポイントで前記対物レンズ15を前記加振部で加振させ、前記受光部の受光量が最大となった時点とすることを特徴とする。

この構成によって、被測定物16に対して焦点の合った画像を表示することができる。

また、請求項14の変位測定方法は、被測定物16へ投射した光の反射光を受光して被測定物16の表面の変位を測定する方法に関する。この方法は、被測定物16へ投射する光が通過する対物レンズ15を、光の光軸方向へ振動させるステップと、振動させた対物レンズ15の位置を検出し、被測定物16からの反射光の光量最大時点で対物レンズ15の位置を検出するステップと、検出された位置に基づいて被測定物16の表面の変位を演算するステップとを備える。さらに、変位測定方法は、前記対物レンズ15を光軸方向と直交する方向に移動させ、変位を演算する被測定物16上の測定ポイントを移動させるステップと、移動された測定ポイントにおいて変位量を測定し、複数の測定ポイントにおける変位量を測定するステップと、各測定ポイントで測定された変位量に基づいて、被測定物16に関する2次元の変位を演算するステップとを備えることを特徴とする。

【図面の簡単な説明】

【図1】

関連技術の変位計の一例を示す模式的構成図である。

【図2】

本発明の実施の形態1に係る変位計を示す模式的構成図である。

【図3】

加振部の他の実施の形態を示す構成図である。

【図4】

対物レンズに入光する光の状態を示す模式図である。

【図5】

走査位置制御信号の概要を示すグラフである。

【図6】

被測定物16の変位を測定した測定結果の一例を示す模式図である。

【図7】

他の被測定物16の変位を測定した測定結果の一例を示す模式図である。

【図8】

他の被測定物16の変位を測定した測定結果の一例を示す模式図である。

【図9】

他の被測定物16の変位を測定した測定結果の一例を示す模式図である。

【図10】

他の被測定物16の変位を測定した測定結果の一例を示す模式図である。

【図11】

本発明の実施の形態2に係る変位計を示す模式的構成図である。

【図12】

対物レンズ走査部の他の実施の形態を示す構成図である。

【図13】

対物レンズ走査部のさらに他の実施の形態を示す構成図である。

【図14】

本発明の実施の形態3に係る変位計を示す模式的構成図である。

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。ただし、以下に示す実施の形態は、本発明の技術思想を具体化するための変位計および変位測定方法を例示するものであって、本発明は変位計および変位測定方法を以下のものに特定しない。

また、本明細書は特許請求の範囲に示される部材を、実施の形態の部材に特定

するものでは決してない。なお、各図面が示す部材の大きさや位置関係等は、説明を明確にするため誇張していることがある。さらに以下の説明において、同一の名称、符号については同一もしくは同質の部材を示しており、詳細説明を適宜省略する。さらに、本発明を構成する各要素は、複数の要素を同一の部材で構成して一の部材で複数の要素を兼用する態様としてもよいし、逆に一の部材の機能を複数の部材で分担して実現することもある。

本発明において変位計とは、被測定物の表面の変位を測定する変位計であって、被測定物の高さや深さ、厚さ、高度差、段差、傾斜や角度等を測定する装置に限られず、高さや傾斜等の測定結果に基づいて表面形状等を測定可能な装置も包含する意味で使用する。同様に変位測定方法においても、これら被測定物の高さや深さ、厚さ、高度差、段差、傾斜や角度等を測定する方法に限られず、これらの測定結果に基づいて表面形状等を測定する方法も包含する意味で使用する。

〔実施の形態1〕

図2に、本発明の実施の形態1に係る変位計の構成図を示す。この図に示す変位計は、発光部としてレーザダイオード12と、レーザダイオード12から出射される光を平行光に変換するコリメートレンズ14と、対物レンズ15と、対物レンズ15を保持する音叉21と、光軸方向に音叉21を振動させるための加振部であるソレノイド24と、ソレノイド24で振動される音叉21の位置を検出する位置検出部である音叉振幅検出器22を備える。またこの変位計は、被測定物16からの反射光が通過する光絞り部17にピンホール17aを形成している。さらに光絞り部17のピンホール17aの位置には、受光部としてホトダイオード18が設けられる。

レーザパワー制御部11で駆動されるレーザダイオード12の出射光は、ビームスプリッタ13と、コリメートレンズ14と対物レンズ15とを順次通過して、被測定物16に投射される。被測定物16からの反射光は、対物レンズ15と、コリメートレンズ14とを通過してハーフミラーを構成するビームスプリッタ13で反射され、光絞り部17のピンホール17aを通過してホトダイオード18へ入射する。

ホトダイオード18で光電変換した信号は、増幅器19へ入力され、その出力信号Xは演算部20へ入力される。U字状に形成された音叉21の一側長寸部の先端には、対物レンズ15の周縁部分が取付けられている。対物レンズ15は、音叉21の振動により、レーザダイオード12の出射光の光軸方向に所定の振幅で振動される。音叉21の一側長寸部の先端側の側方には、位置検出部として音叉振幅検出器22が配設されている。音叉振幅検出器22は、例えば磁気、光又は静電容量を利用したセンサが利用でき、音叉21の振幅位置を検出することで、音叉21に接続された対物レンズ15の位置を検出する。なお位置検出部は、このように音叉の振幅を検出する他、音叉に連結されて振動される対物レンズの位置を直接検出する構成としても良い。

音叉振幅検出器22が検出した検出振幅信号は増幅器23へ入力され、その出力信号Yは演算部20へ入力される。音叉21の他側長寸部の先端側の側方には、音叉21を振動させるためのソレノイド24が配設されている。

ソレノイド24は、音叉振幅制御部25から供給される制御電流によって駆動される。音叉振幅制御部25には、増幅器23の出力信号が与えられ、音叉21の振幅を一定になすように制御されるよう構成される。なお音叉21は、例えば800Hz、振幅が $\pm 0.3\text{mm}$ で振動するものが利用できる。演算部20で演算されて出力される変位信号は、距離変換部50へ入力される。

この変位計は、ホトダイオード18で受光した受光量が最大となる時点での対物レンズ15の位置を音叉振幅検出器22で検出し、これに基づいて被測定物16での光の反射点、すなわち表面の変位を、変位演算部である演算部20および距離変換部50で演算する。

次にこのように構成した変位計の動作を説明する。音叉振幅制御部25からソレノイド24に電流を供給すると、ソレノイド24により磁界が発生する。この発生磁界により音叉21が所定振幅で振動し、対物レンズ15を、それを通る光の光軸方向へ振動させる。音叉振幅検出器22は音叉21の振幅、即ち対物レンズ15の振幅を検出し、対物レンズ15の振幅たる正弦波信号を出力する。この正弦波信号を、増幅器23で増幅し、増幅器23から出力される出力信号Yを演

算部20へ入力させる。

一方、レーザパワー制御部11からレーザダイオード12に駆動電流を供給すると、レーザダイオード12はレーザ光を出射する。この出射光はビームスプリッタ13、コリメートレンズ14及び対物レンズ15を通して被測定物16へ投射される。被測定物16で反射した反射光は対物レンズ15とコリメートレンズ14を通してビームスプリッタ13で反射して光絞り部17側へ投射され、ピンホール17aを透過した光のみがホトダイオード18へ入射する。そのため、ホトダイオード18には、被測定物16で生じた潜り光及びレーザダイオード12で発生した迷光による反射光はピンホール17aで遮られてピンホール17aを通らずホトダイオード18には、被測定物16に生じた合焦点の光のみが入射することになる。

ところで、対物レンズ15が振動させられているために、対物レンズ15と被測定物16との距離が変化し、所望距離に達した時点で、被測定物16に投射した光の合焦点が被測定物16に生じると、ホトダイオード18の受光出力は瞬時に最大となり、この受光出力に応じた信号が増幅器19へ入力され、増幅器19から出力信号Xが出力され演算部20へ入力される。演算部20は出力信号Xの最大値を検出することで、被測定物16に投射した光の合焦点が生じた時点を正確に検出することができる。演算部20は出力信号Xが最大値となる時点での出力信号Yのレベル、即ち対物レンズ15の振幅をサンプリングし、変位信号Sとして出力する。そしてサンプリングした変位信号Sを距離変換部50へ入力して、変位信号Sを、変位信号Sに応じた距離に変換して、被測定物16の表面の変位を測定する。

なお、この例では対物レンズ15の変位を、音叉振幅検出部22の出力する正弦波信号をサンプルホールドすることで直接的に求めている。ただ、対物レンズ15の変位を取得する方法はこの方法に限られない。例えば、特許文献1である特許3300803号に開示されるように、音叉振幅検出器22の出力する信号が、振幅と位相が既知である正弦波信号であることを利用して、被測定物16の合焦点の生じた時点の位相また位相差から間接的に対物レンズ15の変位を取

得する方法も利用できる。

また、加振部の他の実施形態として、図3に示すように、対物レンズ15のみならずコリメートレンズ14も音叉21に接続してもよい。図3の例では、音叉21の一側長寸部の先端に対物レンズ15の周縁部分を取付け、他側長寸部の先端に対物レンズ15と同一光軸上に配置したコリメートレンズ14の周縁部分を取付けている。そして対物レンズ15及びコリメートレンズ14を共に振動可能なように構成している。このようにすると音叉21の一側長寸部と他側長寸部との重量を平衡させ得て、音叉21を効率良く振らせることができる。さらに音叉21の一側長寸部の外側面及び他側長寸部の外側面夫々に圧電素子を固着し、この圧電素子に電圧を印加することで音叉21を振動させることができる。

このような、被測定物16上の任意の一点における変位の演算方法は、例えば上記特許文献1に記載した方法や、その他の既知の方法又は将来開発される方法が適宜利用でき、詳細な説明は割愛する。

〔測定領域〕

以上のようにして変位計は、指定された測定ポイントにおける変位量を測定する。さらに変位計は、測定ポイントを複数指定可能である。具体的には、測定領域指定部51によって測定対象となる測定領域を指定する。測定領域は、円弧や直線等の線状で指定する。測定領域指定部51による指定方法は、例えば線分の始点と終点を指定する方法、自由曲線を直接指定する方法等が適宜利用できる。また指定された測定領域の直線や曲線において、測定ポイントの間隔である走査ステップも指定できる。あるいは、測定したい複数の位置を測定ポイントとしてユーザが直接指定しても良い。または、ユーザが指定した位置に基づいて変位計が測定領域を自動的に設定する方法としてもよい。例えば、指定された位置を基準として、測定ポイントの間隔も所定値に設定される。

このようにして設定された測定領域内で、変位計は複数の測定ポイントにてそれぞれ変位量を測定する。そして測定された複数位置の変位量に基づいて、被測定物16の表面状態を知ることができる。例えば、測定領域における凹凸形状等を表示するプロファイル、傾き、最大高さ、最小高さ、平均高さ、高低差、厚み

等を演算し、必要に応じて表示する。表示方法は、例えば図6～図10に示すように、被測定物16のプロファイルを断面形状として視覚的に出力部66のディスプレイ等にて表示する。また平均高さや傾き等の数値を併せて表示する。

この方法によれば、連続する複数の位置で変位を測定するため、仮にある位置において被測定物の表面状態等により測定が不可能となった場合でも、その近辺において測定可能な位置で測定された変位量を利用して、測定不可能となった位置での変位量を予測、補完することができる。これによって、被測定物に投光する光のスポットサイズが小さい変位計を使用する際においても、測定不可能となる事態を回避できる。

さらに、測定領域を点状から線状とすることで、光のスポットサイズが等価的に大きくなる測定が実現できる。例えば、所定の線分を測定領域として指定し、この領域内の複数の測定ポイントの変位量を測定することで、変位量の平均値等を得ることができ、結果としてスポットを線状に延長した変位測定と同等の測定が実現される。

さらに加えて、測定領域内のプロファイルを測定することもできるので、従来実現できなかった2次元、3次元領域での高さや高低差、段差、幅、角度等も測定可能となる。特に、連続的に複数位置での測定を行って、その結果を統計的に確認できる構成とすることで、一々測定ポイントを指定する手間を省き、さらに平均や最大値、最小値、傾き演算といった処理も容易に実現でき、極めて使い勝手の良い環境が実現される。

もちろん、対物レンズ走査部52を停止させて任意の一点のみの変位量を測定する使用も可能であることはいうまでもない。

〔対物レンズ走査部52〕

測定ポイントの移動は、対物レンズ15を移動させることによって行われる。対物レンズ15は、光の光軸と直交する方向に移動され、図4において水平方向に移動される。発光部から対物レンズ15に入光される光は、介在するコリメートレンズ14によって平行光とされている。その結果、図4に示すように平行光と直交する方向に移動させても、光軸方向の焦点距離は不変で被測定物16上に

て焦点を結ぶことができるので、変位測定が可能となる。対物レンズ15が移動されても、平行光を受けられるように、好ましくは対物レンズ15の大きさはコリメートレンズ14よりもレンズ面の直径を小さくし、かつ対物レンズ15の移動可能範囲がコリメートレンズ14の直径に収まるように設定する。

対物レンズ15は対物レンズ走査部52によって移動される。図2に示す変位計は、対物レンズ走査部52としてサーボモータ52Aと、対物レンズ走査部52により対物レンズ15が移動された位置を検出する対物レンズ移動検出部53として、サーボモータ52Aの回転角を検出する回転角センサ53Aを備える。サーボモータ52Aは、加振部を構成する音叉21を保持する音叉ホルダ56に設けられた回転軸54を介して、加振部を回転自在に連結している。回転軸54は、加振部に連結された対物レンズ15が光軸と直交する平面に沿って移動させるように位置決めされる。図2においては、回転軸54は音叉ホルダ56の後端に貫通されて、音叉21を水平面内で回転させ、コリメートレンズ14からの平行光を対物レンズ15が垂直に受けられるように構成している。サーボモータ52Aの回転は、サーボモータ52Aに接続された走査位置制御部57によって制御される。走査位置制御部57は、演算処理部58から出力される走査位置制御信号に基づいてサーボモータ52Aの回転を制御する。

〔対物レンズ移動検出部53〕

またサーボモータ52Aの回転軸54には、対物レンズ移動検出部53として回転角センサ53Aが取り付けられ、回転角センサ53Aによって対物レンズ15の位置が検出される。回転角センサ53Aは対物レンズ移動位置信号を走査位置制御部57に送出し、走査位置制御部57は対物レンズ移動位置信号と走査位置制御信号に基づいて対物レンズ15の位置を正確に制御できる。また、走査位置制御部57は対物レンズ15の位置情報を演算部20に報告する。これによって、変位計は測定位置を把握しながら走査することができる。演算部50は対物レンズ15の位置情報を受けて、測定ポイント毎の変位量を距離変換部50で演算し、演算結果を演算処理部58に出力する。演算処理部58はメモリ部59を備えてなり、各測定ポイントにおける変位量を保持する。そして所定の演算処理

を行い、その結果を必要に応じて出力する。例えばディスプレイに表示させる、プリンタに印刷する、記憶媒体に保存する、あるいはその他の処理のために外部機器に送出される。出力部66は、これらの処理に応じてディスプレイ等の表示部、プリンタ等の印刷部、ストレージデバイス等の媒体記録部、コンピュータ等の外部機器等が利用できる。なお演算部50と演算処理部58は、システムLSI等のICで構成でき、これらを同一の回路で構成することもできる。

[測定領域指定部51]

図2に示す変位計は、ユーザが所望の測定領域を指定するための測定領域指定部51を備える。測定領域は、測定を行う領域を線で指定する。測定領域指定部51は、例えばコンソールやキーボード、マウス、タッチパネル等の入力手段が適宜利用できる。測定領域指定部51は変位計に備え付ける他、脱着自在な部材として有線、無線で変位計本体と接続される。あるいは、変位計に接続されたコンピュータに接続される入力デバイスを利用しても良い。

測定領域指定部51は演算処理部58に接続されている。ユーザが測定領域指定部51から測定領域を指示することで、この情報に基づいて演算処理部58は音叉位置制御信号、走査位置制御信号をそれぞれ音叉振幅制御部25、走査位置制御部57に出力し、これらを制御する。図5は、走査位置制御信号の概要を示す。測定領域は、対物レンズ15を移動させる範囲である走査幅、移動の中心位置である走査中心、対物レンズ15を周期的に移動させる場合の走査周期、一回当たりの移動量である走査ステップ等で決定される。ユーザは、例えば走査ステップと走査幅を指定すると、対物レンズ15は指定された走査ステップで段階的に移動され、走査幅分移動すると折り返して反対方向に移動し、周期的に移動することで被対象物の表面を走査する。また、指定を簡単にするためにユーザが被測定物上で任意の一点を指定すると、この点を走査中心として、予め設定された走査幅、走査ステップで走査領域を自動的に設定することもできる。あるいはまた、対物レンズ15を周期的に走査させる方法に限られず、ユーザが指定した任意の経路に沿って移動させたり、任意の点での変位を測定するよう、このような経路や点を指定するよう構成しても良い。

走査に要する時間または走査速度は、主に走査ステップと走査幅によって決定される。走査ステップを大きくとり、走査幅を狭くする程、走査速度は速くなる。一方、走査ステップを小さくする程、走査精度は向上し、より微細な変位測定が可能となる。よって、測定領域やそのパラメータは、速度と精度のバランスに応じて所望の値に設定される。

一方、図5に示すように、走査位置制御信号と並行して、音叉位置信号が演算処理部58から音叉振幅制御部25に対して送出されている。よって対物レンズ15を光軸と垂直な面に沿って移動させる間にも、加振部によって対物レンズ15は光軸の方向に振動されており、上述したように受光部の最大値を検出することで変位を演算している。好ましくは、一の走査ステップ毎に対物レンズ15を加振部で光軸方向に一周期以上振幅させて、各ステップ毎に変位を測定できるようにする。このために、走査位置制御信号と音叉位置検出信号は演算処理部58で同期させて出力する。

以上のようにして設定された測定領域において、実際に様々な被測定物16の変位を測定する例を図6～図10に示す。それぞれの図は、被測定物16の形状と、その測定結果として表面高さのグラフを示している。なお各図においては、測定のイメージを説明してのものであって被測定物16の表面と測定結果とは一致させていない。

図6は、金属製で光沢面を有する被測定物16の表面プロファイルを測定した測定値である。この図のように、光沢面を有する被測定物16であっても指定された測定領域内の高さの変化を表示させることができる。

図7は、測定不可能な点を含む被測定物16を測定する例を示す。この例では、凹凸を有するセラミックの表面を順次測定しており、ある位置では変位の測定が不可能であったため、測定結果でプロットされていないが、その前後の測定結果から、変位量を推測することが可能となる。また、測定不能点の前後の変位量から、不能点の変位量を演算して補完することもできる。あるいは、全体の変位量を平均化したり、特異な値を抽出して補正したり、平滑化するといった処理を加えることもできる。

図8は、被測定物16の高さを測定する例を示す。この例では、透明ガラス上にシリコン接着剤を突出させた場合の高低差を検出している。このように、被測定物16の表面を走査して、最大高さと最小高さを検出し、その差を演算することで正確な高低差が得られる。

また図9は、傾きを測定する例を示す。この例では、フェライトと電極が構成されたヘッド部の先端における変位を測定し、そのその近似直線から傾斜角度を求めている。このように、各点における変位の測定値にばらつきが生じても、一定の範囲全体の測定結果から角度特性を得ることができる。また同様にして、測定範囲での平均高さを求めることもできる。

さらに図10は、深さ測定を行う例を示す。この例では、被測定物16の表面に凹部が形成されており、その上面と底面の変位を測定して深さを測定している。

このようにして、変位計は複数の測定ポイントにて変位置量をそれぞれ測定し、測定された複数位置の変位置量に基づいて、被測定物の表面状態を知ることができる。また上記の構成においては、発光部から発する光の光軸を移動させず、対物レンズ側を移動させることによって、被測定物表面の測定ポイントの走査を実現している。このため、発光部の光軸を走査させるための複雑な機構を設ける必要が無く、走査機構を極めて安価に構成できるという優れた特長が実現される。

[実施の形態2]

以上の図2に示す構成では、対物レンズ走査部52としてサーボモータ52Aを使用した。対物レンズ走査部はこれに限られない。本発明の他の実施の形態に係る変位計を、図11に示す。図11に示す変位計は、図2とほぼ同じ構成であるが、対物レンズ走査部52としてボイスコイル52Bとボイスコイル用磁石52Cを利用した回転機構を採用し、また対物レンズ移動検出部53としてホール素子53Bとホール素子用磁石53Cを利用している。

ボイスコイル用磁石52Cは、回転軸54を保持して静止状態で固定され、断面コ字状の開口部60を備える回転軸保持部55の、開口部内面に固定される。一方ボイスコイル52Bは、音叉ホルダ56の上面に突出して、開口部60に挿

入された状態でボイスコイル52B磁石と対抗するように音叉ホルダ56に固定される。この変位計は、走査位置制御部57によってボイスコイル52Bに流れる電流を調整し、この電流と交叉する磁界の相互作用に基づいてボイスコイル用磁石52Cとの間で駆動力を発生させ、回転軸54を中心に対物レンズ15を回転させる。

また対物レンズ15の移動位置は、ホール素子53Bとホール素子用磁石53Cによって検出される。図11の例では、音叉ホルダ56にホール素子用磁石53Cを固定し、このホール素子用磁石53Cと対抗する位置に静止するホール素子53Bを設けている。ホール素子53Bは、GaAsやInSbのホール効果を利用して磁界強度を検出する素子である。ホール素子53Bはホール素子用磁石53Cとの距離に応じた磁界強度を検出して、音叉ホルダ56の回転角または回転距離を対物レンズ移動位置信号として走査位置制御部57に出力する。

さらに、対物レンズ15の移動方式は、図12、図13に示すような方法も利用できる。これらの図は、対物レンズ15の固定状態を示す平面図である。図12では対物レンズ15を板バネ61に固定しており、板バネ61を振動させることによって水平面内に移動させている。板バネ61は、図示しない加振部によって加振される。この構成は極めて安価に構成することができる。

なお、上述した対物レンズの移動方式においては、いずれもその軌跡が円弧状となる。この場合、円弧の半径を大きくすることによって、軌跡を円弧状から直線上に近付けることができる。

また図13においては、対物レンズ15を直線上に移動させるために摺動可能なリニアガイド62を利用している。リニアガイド62はガイドレールに沿って直線上に摺動可能である。よってリニアガイド62に固定された対物レンズ15は、確実に直線移動される。これらの図に示す方式においても対物レンズ移動検出部を適宜設けることが可能であることはいうまでもない。

[実施の形態3]

さらにまた、本発明の実施の形態3として、撮像モニタ63を備える例を図14に示す。この図に示す変位計は、図2とほぼ同様の構成に加えて、発光部の光

路に備えられた第2ビームスプリッタ64を構成する第2ハーフミラーと、第2ハーフミラーからの反射光の光路上に備えられた撮像用受光部65としてCCDカメラ等のイメージセンサと、CCDカメラに接続された撮像モニタ63とを備える。撮像モニタ63はCCDカメラで検出された受光信号に基づいて被測定物16を表示する。この撮像モニタ63は、対物レンズ15の移動時に常時被測定物16を表示し続けるのではなく、特定のタイミングでのみ撮像を行うことで、ピントのあった鮮明な画像を表示させることができる。撮像モニタ63で表示する画像を撮像するタイミングは、対物レンズ15の焦点が合った時点で、かつCCDカメラが撮像モニタ63で表示する画像を撮像するタイミングは、振動して移動する対物レンズ15の走査幅の内所定の走査位置、好ましくは走査中心であって、かつ対物レンズ15の合焦点の時点である。これによって、対物レンズ15の走査位置が時々刻々と変化していても、撮像モニタ63上では所定の走査位置における静止状態の画像が表示される。また合焦点のタイミングは、上述した方法と同様に受光部の光量が最大となった時点とする。必要に応じて照明装置を設け、このタイミングに連動させてフラッシュを照射させても良い。これによって、焦点の合うタイミングを確実にかつ瞬時に捕捉でき、特別な機構を要せず極めて高性能なオートフォーカス機能が実現される。撮像モニタ63は、このようにして撮像された画像のみを表示させ、新たな撮像が行われるタイミングで画像表示を更新させてもよい。これによって、撮像モニタ63には常にきれいな画像のみを表示させることができる。あるいは、走査幅や走査ステップにも依存するが、一周期の走査速度が撮像モニタ63の更新速度(テレビレートでは60Hz程度)よりも遅い場合には、フレームメモリを設けることでちらつきの少ない画像が表示できる。フレームメモリは、1フレームすなわち1画面分の画像データを記憶するメモリである。撮像された画像データを保持して、同一の画像データを繰り返し表示させることで、倍速表示にも対応可能な高品質な表示が可能となる。なお、この例では撮像モニタを出力部と別に表示しているが、撮像モニタは出力部の一例である表示部と兼用しても良い。

以上説明したように、本発明の変位計および変位測定方法は、変位測定を被測

定物上の一点で行うのみならず、線状の範囲をもった領域で測定することができる。これによって、たとえ検出不能な測定ポイントが存在しても、その近辺の変位量を測定することによって、推測、補完することができる。このため、微小なスポットで被測定物の緻密な変位測定を行う際にも、測定不可能に陥ることなく信頼性の高い変位計および変位測定方法が実現される。さらに、測定領域において測定された複数の測定値を組み合わせた処理も可能で、平均値や高低差、傾き検出、プロファイルといった情報を得ることができ、より詳細な測定が実現される。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 被測定物に投射する光を発生させる発光部と、

前記発光部から出射された光を受けて、被測定物に投射する対物レンズと、

前記対物レンズを、所定の振幅で第1の方向に沿って振動させる加振部と

第1の方向に前記対物レンズが移動された位置を検出する位置検出部と、

被測定物からの反射光が通過する光絞り部と、

前記光絞り部を通過した光を受光する受光部と、

前記受光部で受光した受光量の最大時点における前記位置検出部での検出位置を取得し、これに基づいて被測定物に関する変位を演算する変位演算部と、

前記対物レンズを第1の方向と直交する第2の方向に沿って移動させる対物レンズ走査部と、

前記対物レンズ走査部により対物レンズを第2の方向に沿って移動させることで被測定物における測定ポイントを所定の移動量で移動させ、複数の測定ポイントで変位を測定し、各測定ポイントでの変位の測定結果に基づいて被測定物に関する2次元の変位を演算する演算処理部と、
を備えることを特徴とする変位計。

【請求項2】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを円弧上に移動させることを特徴とする請求項1に記載の変位計。

【請求項3】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを所定の回転軸を中心として円弧上を移動させるサーボモータで構成してなり、前記対物レンズ移動検出部は、前記サーボモータの回転角を検出する回転角センサで構成してなることを特徴とする請求項2に記載の変位計。

【請求項4】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを所定の回転軸を中心として回転移動させるボイスコイルで構成してなり、前記対物レンズ移動検出部は、前記ボイスコイルの移動を検出するホール素子で構成してなることを特徴とする請求項2に記載の変位計。

【請求項5】 前記対物レンズ走査部を、前記対物レンズを連結

した片持ち梁で構成されてなることを特徴とする請求項2に記載の変位計。

【請求項6】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを直線状に移動させることを特徴とする請求項1に記載の変位計。

【請求項7】 前記変位計はさらに、被測定物からの反射光の光路上に配置される撮像用受光部と、前記撮像用受光部で検出された受光信号に基づいて被測定物を結像し表示するための撮像モニタを備えており、前記撮像モニタで表示する画像を撮像するタイミングを、所定の測定ポイントで前記対物レンズを前記加振部で加振させ、前記受光部の受光量が最大となった時点とすることを特徴とする請求項1に記載の変位計

。【請求項8】 被測定物に投射する光を発生させる発光部と、前記発光部から出射された光を受けて、被測定物に投射する対物レンズと、前記対物レンズを、所定の振幅で対物レンズを通過する光の光軸の方向に沿って振動させる加振部と、

光軸方向に前記対物レンズが移動された位置を検出する位置検出部と、被測定物からの反射光が通過する光絞り部と、前記光絞り部を通過した光を受光する受光部と、前記受光部で受光した受光量の最大時点における前記位置検出部での検出位置を取得し、これに基づいて被測定物に関する変位を演算する変位演算部と、

被測定物上で測定対象となる測定領域を指定する測定領域指定部と、前記測定領域指定部で指定された測定領域にしたがって、前記対物レンズを光軸方向と直交する平面に沿って移動させる対物レンズ走査部と、

前記対物レンズ走査部により直交平面で前記対物レンズが移動された位置を検出する対物レンズ移動検出部と、

前記対物レンズ移動検出部によって検出される、測定領域内で測定を行った複数の測定ポイントにおける対物レンズの位置情報と、複数の測定ポイントにおいて測定された変位量とに基づいて、測定領域内における変位量の分布を演算するための演算処理部と、

前記演算処理部によって演算された結果を出力するための出力部と、
を備えることを特徴とする変位計。

【請求項9】 前記対物レンズ走査部は、被測定物上にて指定された経路もしくは領域内を所定の間隔で走査するように前記対物レンズを移動させ、前記演算処理部が各測定ポイントで測定された変位量を連続量として、前記指定された経路もしくは領域内における被測定物のプロファイルを表示可能に構成してなることを特徴とする請求項8に記載の変位計。

【請求項10】 前記対物レンズ走査部は、被測定物上にて指定された経路もしくは領域内を所定の間隔で走査するように前記対物レンズを移動させ、前記演算処理部が各測定ポイントで測定された変位量を平均して前記指定された経路もしくは領域の変位量として演算することを特徴とする請求項8に記載の変位計。

【請求項11】 前記測定領域指定部は、前記対物レンズを移動させる範囲である走査幅、移動の中心位置である走査中心、対物レンズを周期的に移動させる場合の走査周期、一回当たりの移動量である走査ステップの少なくともいずれかを設定可能とすることを特徴とする請求項8に記載の変位計。

【請求項12】 前記変位計はさらに、前記発光部から出射される光を平行光に変換して、平行光を前記対物レンズに入射させるコリメートレンズを備えており、前記対物レンズは前記対物レンズ走査部によって、前記コリメートレンズからの平行光の光軸に対して垂直な方向に移動可能に構成してなることを特徴とする請求項8に記載の変位計。

【請求項13】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを所定の位置を中心として所定の振幅で振動するように移動することを特徴とする請求項8に記載の変位計。

【請求項14】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを円弧上に移動させることを特徴とする請求項8に記載の変位計。

【請求項15】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを所定の

回転軸を中心として円弧上を移動させるサーボモータで構成してなり、前記対物レンズ移動検出部は、前記サーボモータの回転角を検出する回転角センサで構成してなることを特徴とする請求項14に記載の変位計。

【請求項16】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを所定の回転軸を中心として回転移動させるボイスコイルで構成してなり、前記対物レンズ移動検出部は、前記ボイスコイルの移動を検出するホール素子で構成してなることを特徴とする請求項14に記載の変位計。

【請求項17】 前記対物レンズ走査部を、前記対物レンズを連結した片持ち梁で構成されてなることを特徴とする請求項14に記載の変位計。

【請求項18】 前記対物レンズ走査部は、前記対物レンズを直線状に移動させることを特徴とする請求項8に記載の変位計。

【請求項19】 前記変位計はさらに、被測定物からの反射光の光路上に配置される撮像用受光部と、前記撮像用受光部で検出された受光信号に基づいて被測定物を結像し表示するための撮像モニタを備えており、前記撮像モニタで表示する画像を撮像するタイミングを、所定の測定ポイントで前記対物レンズを前記加振部で加振させ、前記受光部の受光量が最大となった時点とすることを特徴とする請求項8に記載の変位計。

【請求項20】 被測定物へ投射した光の反射光を受光して被測定物の表面の変位を測定する方法において、

被測定物へ投射する光が通過する対物レンズを、光の光軸方向へ振動させるステップと、

振動させた対物レンズの位置を検出し、被測定物からの反射光の光量最大時点で対物レンズの位置を検出するステップと、

検出された位置に基づいて被測定物の表面の変位を演算するステップと、

前記対物レンズを光軸方向と直交する方向に移動させ、変位を演算する被測定物上の測定ポイントを移動させるステップと、

移動された測定ポイントにおいて変位量を測定し、複数の測定ポイントにおけ

る変位量を測定するステップと、

各測定ポイントで測定された変位量に基づいて、被測定物に関する2次元
の変位を演算するステップと、

を備えることを特徴とする変位測定方法。

要約書

変位計は、被測定物16に投射する対物レンズ15と、対物レンズ15を所定の振幅で対物レンズ15を通過する光の光軸の方向に沿って振動させる加振部と、対物レンズ15の位置を検出する位置検出部と、対物レンズ15を光軸方向と直交する平面に沿って移動させる対物レンズ走査部52と、対物レンズ15が移動された位置を検出する対物レンズ移動検出部53と、対物レンズ移動検出部53によって検出された測定領域内での対物レンズ15の位置情報と、複数の測定ポイントにおいて測定された変位量とに基づいて、測定領域内における変位量の分布を演算するための演算処理部58と、演算処理部58によって演算された結果を出力するための出力部とを備える。